

論文

サプライネットワークの冗長化戦略

高橋 武秀*

Strategic introduction of “redundancy” to the supply-network

Takehide Takahashi

Abstract

Author argues following points:

- 1) Vulnerability of Japanese automobile parts supply network has revealed by severe natural disasters (ex. Higashi-Nihon Earthquake, Flood in Thailand)
- 2) To keep parts supply network working, network should secure redundancy of the system.
- 3) The network which assures the redundancy should be built in the globally emerging market, not in Japan.

Key Words

Automobile production system, Supply Network, Redundancy

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、大規模な津波被害、原子力発電所の損壊などをもたらし、まさに未曾有の被害を日本に与えたことは、記憶に新しい。

分けても自動車製造関連産業群、特に電子系部品の供給途絶の影響により自動車生産そのものが途絶する事態が発生したことは如何に地震被害が甚大であったとはいえ自動車製造に関わる産業・企業群のネットワークが実は特定の企業ノードをチョークポイントとしており、当該ノードへの攻撃がネットワークの崩壊を招くという「脆弱性」が示された事例として大きな反響と関心を呼んだ。

以降、サプライチェーンの頑健性の獲得の議論は民間企業間、政府レベルなど様々な局面で行われるに至った。この「災害に対する頑健性の獲得」の為のノード選定の議論に急速に進行していた円高が、国内企業の国際競争力（殊に輸入防遏力）の劣化を示した事実が重なり、「円高のデメリットをメリットに転換するための海外立地」の議論に脆弱性対応の立地論が交錯した。この結果、単純な国外立地の議論より裾野の広い形で、産業組織を踏まえたサプライチェーンの議論が必要と認識されるに至っている。

本稿では、まず災害対応としてのサプライチェーンの再編成について、まずネットワーク論特

* 日本自動車部品工業会副会長・専務理事、早稲田大学自動車部品産業研究所客員教授

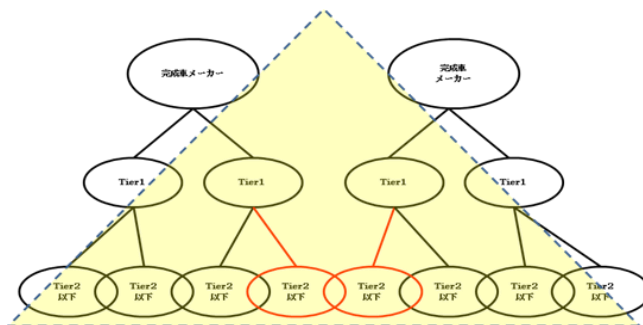
にネットワーク形状の特異性からアプローチし、特定の企業がチョークポイントになっていった経緯を概観する。ついで現在までの部品企業の海外立地動向を踏まえ、中長期的に見て合理性を持つネットワーク形状について吟味を行う。

2. チョークポイントの発生に至るメカニズム

2-1 産業組織の認識の変化

従来、日本の自動車生産企業群は、漠然と「自動車メーカーを頂点とするピラミッド構造」(図-1 参照)

図-1

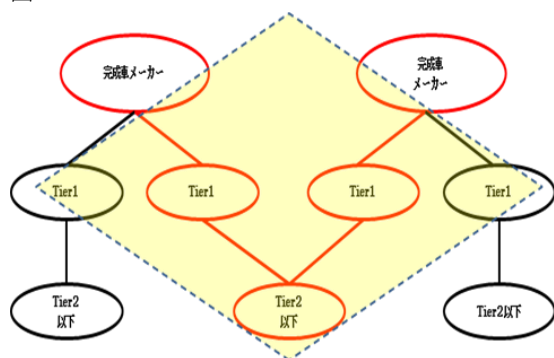


出典：経済産業省 「日本経済のあらたな成長の実現を考える自動車戦略研究会」資料¹から高橋が改変・作成。

として認識され、自動車メーカー系列毎に複数の部素材メーカーが広い裾野を形成し、特定の部素材メーカーの生産途絶がSCに与える影響は限定的である、すなわち製造システムとしては極めて頑健な組織であると認識されていた。ところが、東日本大震災が日本の自動車生産システムの全縦深に同時に攻撃を加えた結果、日本の部品のサプライチェーンは図-2のような内部構造を抱え込んでおり、ハブとなっているノード(図-2中では中央のTier2が該当するメーカー。ここに中核部素材が集中し、当該メーカーの生産途絶の影響が完成車メーカーを問わず全体に波及するようなノード)が存在しこれが外部からの攻撃により崩壊するとネットワーク自身が崩壊する事が示されたのである。一部にはこの現象を「ダイヤモンド構造の発生」と呼ぶ者もある。

¹ <http://www.meti.go.jp/press/2011/06/20110615002/20110615002.html>

図一 2



出典：経済産業省 「日本経済のあらたな成長の実現を考える自動車戦略研究会」資料²から高橋が改変。

2-2 ダイヤモンド構造発生の原因

①エージェント同士の結びつき方は、初期条件の設定の如何によってランダムネットワーク、スモールワールドモデルなどいろいろなパターンがあり得る。自動車部品産業における部品供給のネットワークも、ある条件下ではピラミッド型であり、条件の変化によってダイヤモンド型が発生・固定化したと考えられる。

②ダイヤモンド構造はあるエージェントが自らの取引相手を複数の中から特定社に絞り込むことによって発生する。この絞り込みの動因がダイヤモンド構造発生の原因である。

自動車生産に関わるネットワークには常に、顧客から、あるいは企業間の接触の結果、様々なストレスに見舞われている。筆者は、このおそらくは多種多様であるネットワークに負荷されるストレスの中から、最上位にいる完成車組み立てメーカーから下位企業に対する価格の下方修正圧力を要素として重視する。理由を以下に示す。

- i 自動車部品工業会がとりまとめ手、プレス発表している各年度の事業状況を見ると、1999年度以降、顧客からの価格引き下げ要求という文章が毎年書き込まれる様になっており、自動車部品メーカーは数量増以外の利益要因を喪失していることが示されていること。
- ii 完成車メーカー（乗用三社）から上流メーカーへの資金環流状況を示す各社の原価率と、各社の売上高営業利益率の間には1999年以降強い逆相関関係が見られ、下位企業に対する原価たたきが自己の利益に直結するというパーセプションが完成車メーカーに一般化していること。
- iii 完成車組み立てメーカーからは現在なお毎年のように部品価格低減の（説明振りは多様であるが）価格改定の要求が続いていること。（参照：2012年9月5日付日刊自動車新聞 一面）

③このような価格低減ストレスに対応するために下位企業は自己の調達コストの低減ならびに製造コストの低減を図る必要が生じる。自己の製造コストの低減のためには、製造工程の集約、製造事業場の集約といった方法により、量産効果を追求することが第一選択となる。

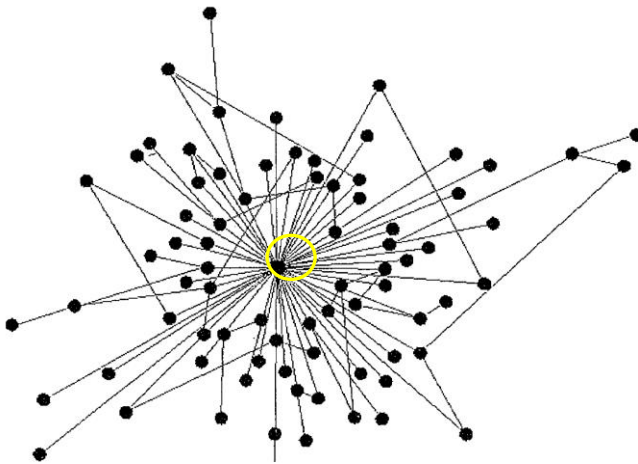
² <http://www.meti.go.jp/press/2011/06/20110615002/20110615002.html>

又外製部品の調達コストの低減のためには発注先の集約による量産メリットの付与によるコスト低減という手法も同様である。

上述したように価格低減圧力は連続的にネットワークに負荷されており、これに対応するために連続してとられる下位企業の行動（発注量の統合による生産規模の利益の追求）が特定のTier1以下の企業（ノード）へのネットワーク集約＝ハブ化を推進する動因となる。

ネットワーク中にハブノードが構成された場合ハブに対するロックインが発生し、ハブとしての成長（ネットワークパスの集中化）に拍車がかかるのは当然の成り行きである。このように成長したそのハブが取り除かれたときにネットワークが崩壊することは既に指摘があるところであり（図－3参照）³、東日本大震災の際のサプライネットワークの機能不全は、絶えざる負荷に対応するために構成されたハブノードが地震によって取り除かれた結果であると判断することが出来る。

図－3



出典：参考文献⁴ p 99 図6・4を引用。改変は高橋。

3. ネットワーク形状の制御の必要性

3－1. ネットワーク機能維持手法の検討

東日本大震災の経験を踏まえ、サプライネットワーク機能の崩壊の防止あるいは早期回復のため、既存ネットワークを頑健に、あるいは可撓性を有するネットワークに変換して行く必要がある事が広く認識されている。

この認識の下、経済産業省が震災後開催した「日本経済のあらたな成長の実現を考える自動車戦略研究会」の報告書では以下に示すような提案がなされた。

³ 「新ネットワーク思考～世界の仕組みを読み解く～」アルバート・ラズロ・バラバシ著 青木 薫訳 NHK出版 2002年刊 pp169-171

⁴ 増田直紀、今野紀雄著「複雑ネットワークの科学」（2005年）産業図書

- i) 工場・事業場単体の耐震性能の向上等被害軽減対策の導入
 - ii) 発注先の複線化の維持、これと並行しての部品の標準化・共通化の推進によるロット維持
 - iii) 有事の代替供給先の確保と協力関係に入りうることの事前の確認
- などである。

特に ii) の後段に示される考え方は、業界横断的な標準化を念頭に置いており、メディア的にはそれなりの話題とはなった。しかしながら、競合関係にある完成車メーカー横断で部品の共通化と個別会社の競争関係の維持とは果たして両立が可能かなどの疑問が呈される内容であり、現在直ちに完成車メーカーの企業行動に大規模に取り入れられているとは言い難い。(同一企業内での共通化は自社の経営合理化の観点から様々な局面で論議されている。)

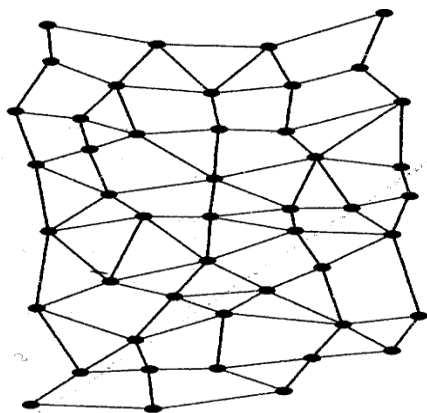
以下、本稿では「研究会」が指摘した論点の i) 及び iii) の論点がサプライネットワークのロバスト性及びレジリアンシーを維持する観点からどのような意味を持つかを検討する。

3-2. ネットワークの形状とレジリアンスの確保

3-2-1. ランダムネットワーク

ネットワークが図-4に示したようなランダムネットワークであるならば、内部のどのノードを取り除いても（あるいは、攻撃によって破壊されても）サプライネットワークはパス（経路）をつなぎ替えることによって機能する。しかし、完成車メーカーがサプライヤーの全貌を把握・コントロールすることは困難となろう。

図-4 ランダムネットワークの模式例



出典：参考文献⁵ p 208 図11-1 (c) を引用・改変。

3-2-2. ピラミッド型ネットワーク

図-1に示した理想的なピラミッド型ネットワークはピラミッド階梯の上位に位置するノードは、直下のノードに一定の責任と権限を配分することにより理論的にはネットワーク全体をコントロールすることが出来る。又、ネットワークの一部の破壊など問題が発生した場合、

⁵ 「新ネットワーク思考～世界の仕組みを読み解く～」アルバート・ラズロ・バラバシ著、青木薫訳 NHK出版、2002年刊

破壊されたノードの代替者が常時維持され得る。代替するパスが事前に確保されていることによりノードの不具合が発生してもネットワークの機能は維持される抗堪性の高いネットワーク構造である。（実際に事故が起こればアウトプットに若干の変動は生じる可能性はある。）

我々が現実に見据えなければならないのは、このようなピラミッド型のネットワークに恒常的に負荷がかかることにより、パスの短絡化、付け替えにより一部ノードのネットワークからの脱落と、それに並行してのハブノードの形成・再生産が発生した現実のネットワークシステムである。このネットワークシステムのレジリアンシーなどについては以下に示す。

3-2-3. ハブノード内包型ネットワーク

1) 通常ハブノードの発生は、ネットワークが成長する過程に於いて、新規に参入するノードがより多くのリンクを求めて、「多数のリンクをもつノード」に選択的にリンクする⁶ことにより発生すると説明される。ネットワークに継続的に負荷されるストレスへの耐性を得るためにハブが発生するというサプライチェーンでのハブ形成プロセスはネットワークの成長を前提に置くハブ形成プロセスの説明とは異なるが、「ハブを持つネットワークからハブが取り除かれた場合、ネットワークは崩壊する」という現象は同様に起こる。これはネットワークの形状の問題に由縁する。

仮に 特定のハブノードが3-1-i) に示された方法により頑健性を「いかなる脅威」に対しても獲得する（例：特定事業場の免震性を極端に高めるという方法）ためノードの「ロバスト性」を高め、ネットワークの機能を維持できる可能性が高まるかどうかを検討する。

個々のノードの物理的ロバスト化は理論上可能であろうし、ネットワークのレジリアンシーを確保する上で一定の意味合いを持つ。このことは中越沖地震の際の（株）リケン⁶の回復が早かったのは現実には耐震補強を施していたおかげで被害が最小限度で済んだとされることから理解できる。

2) しかしながらサプライネットワーク中のハブノードを経済単位としての個別企業のコストで総てロバスト化するという手法を強要することは出来ない。更にはいつどこで発生する予測しがたい災害等に対して総てのハブをロバストに加工することは非現実的である。

更に、サプライネットワークに「負荷」がかかり続ける限り、時間の経過に従って随時任意の箇所で発生するハブノードをすべてロバストにすることは、存在するノードを総てロバスト化するのとはほぼ同義であり、現実性に欠ける。

3) 個々のノードのロバスト化は一定の効果のある手法であり、決してゆるがせにはならない課題であることは認めつつも、単体ロバスト化がシステムのロバストネス確保の必要・十分条件ではないことは認識する必要がある。

むしろ「研究会」がii) の後段及びiii) で示唆した手法、ネットワーク研究の用語に言い換えれば冗長性を維持するためハブノードのミラーノードを意図的に形成させる、あるいは、ミラーノードとして活動できるよう、他のノードに必要な要素を事前に埋め込み、有事に一定の冗長性を発揮できる可撓性を埋め込んだシステム作りを行っておくことが重要になる。

⁶ 「新ネットワーク思考～世界の仕組みを読み解く～」アルバート・ラズロ・バラバシ著、青木薫訳 NHK出版、2002年刊 pp155-157

4. 冗長性・可撓性維持の条件

日本資本の自動車組み立てシステムの自然災害に対する頑強さ（具体的には災害からの復旧スピード）を確保するにはシステム、特に個別ノードのロバスト性の維持に加え、システム全体のレジリエンス（可撓性）をシステム評価の観点に加える必要がある。

東日本大震災の経験が示すところによれば、システムによる生産量は、システムに投入される複数の財（資材）の内、最少量の財が決定した。すなわちリービッチの最少律が作用する状態になっている。「最少の財」の種類と量は各サブシステムの生産復帰の速度によって変動する。システムの生産能力の十全且つ迅速な回復のためには、複数の取り除かれたハブノードからの外部投入が時間的に近接して再開されることが重要であった。

5. ミラーノードのロケーション選択

1) 地質学的要件

ここまでで、システム回復自体と回復に至るスピード感の確保のためハブノードの発生をコントロールし意図的に冗長性を維持する、あるいは有事には冗長性を確保できるシステムが必要である事を論じた。

ここで、日本資本の自動車部品生産システムのロケーションの特質を冗長性維持の観点から評価することを試みたい。

可撓性を獲得するためのシステム上の鍵となるミラーノードを太平洋プレート、ユーラシアプレートなど複数のプレートの辺縁部に存在し、地震リスクが高い日本に、このまま存置すること、あるいは新設することには多大の疑問がある。このことは東日本大震災あるいは東南海大地震の予測⁷が如実に示している。

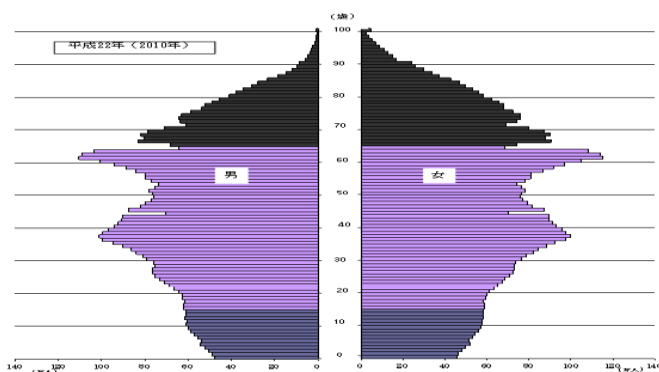
2) 市場の制約

ミラーノードのロケーションにはこのような物理的あるいは地質学的な条件に加え、日本国内の自動車生産システムの置かれている経営上の条件についても十分な目配りがされていく必要がある。

日本国内の自動車生産システムは現在、概ね輸出 5 割程度内需 5 割程度の比率で自動車を生産している。従来の高円高時の経験に照らし、外需はいずれ、新興国市場での自動車生産の増加、外貨交換レート改善の頭打ちなどの結果として長期的には剥落し、生産減の方向に圧力がかかると考えられる。

⁷ 2013年2月6日参照 http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_nankai/nankai_top.html

図一 5



出典： http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/kouhou/useful/u01_z19.htm.

又、図一 5 に示したとおり我が国の人口構造は若年人口の減少と急速な高齢社会へ突入している。この現象が、社会保障制度の根本的な組み替え等各藩の社会構造に関する変革を余儀なくさせる原因であるが、無論自動車産業も無関係ではなく、新規自動車（完成車）需要層の構造的減少に直結した大問題である。

今後都市部であってさえ一人が複数の自動車を所有する環境が整備されるといった僥倖がない限り、将来に渡って内需は縮減してゆく。報道に依ればトヨタは 2014 年までに国内生産を 10%強削減し 310 万台へ、日産は 2012 年から主力工場の一つ追浜工場の生産ラインを 2 本から 1 本に削減し国内生産を 15%削減する計画である等とされる。これらの信憑性について筆者自身は検証を出来ないているが、自動車メーカーが既に中長期的に構造的過剰となる設備負担の軽減に着手していると考えられる。このように外需・内需とも構造的に減少する中では、国内の自動車生産ネットワーク、特に T-1 以下の構成するネットワークに対する「負荷」（生産数量減、納入価格低下等）は従来にも増して厳しいものとなろう。構造的な需要減少と、増大するネットワーク負荷に加え地質学上のリスクも高い日本に新規にコストをかけてミラーノードを埋め込もうという努力はコスト回収の可能性からは実現可能性に乏しい。

6 国外ネットワークの現況

以上述べたように国内のネットワーク内に新たに冗長性を組み込むことは合理性を欠く。以下では、今後の国内市場の構造的縮小、交易条件の悪化などを与件として、現在 Tier-1 以下が展開して来ている「交易条件の良い地域への進出」というネットワーク形成活動を冗長性の組み込みと言う視点から鳥瞰する。

1) 海外進出の実際

Tier-1 クラス企業の海外進出の現況を表一 1 に示す。企業数ベースでは中国、ASEAN、北・中南米の三地域が鼎立する形になっている。

表－１^８ 進出企業数

| 法人数 | 北米 | 中南米 | 欧州 | アジア | 内、中国 | 内、アセ アン | 中近東 他 | 合計 |
|-----|-----|-----|-----|----------|------|------------|----------|----------|
| 生産 | ２６９ | １０８ | １９０ | １１５ ０ | ４８２ | ４６０ | ３５ | １７５ ２ |
| 販売 | ６０ | １５ | ７９ | １６５ | ４２ | ６２ | ２０ | ３３９ |
| その他 | ５８ | ５ | ３６ | ９４ | ４２ | ３７ | ３ | １９６ |

また、海外進出事業所数の一社当たり取引高、域外輸出への依存度は表－２の通りで有る。

表－２^９ 進出企業の売り上げその他

| | 北米 | 欧州 | アジア | 内アセア ン | 内中国 | その他 | 合計 |
|---------------------|-------|------|-------|-----------|-------|------|-------|
| 売上高 (億円) | １５２４９ | ６４３１ | ３４４５７ | １４４４８ | １６６８１ | ５０７３ | ６１２１０ |
| １社平均 売上高（億 円） | １３９ | ８６ | ９３ | ９３ | １０２ | ９８ | １０１ |
| 内国比率 (%) | ９１．６ | ５３．５ | ７５．８ | ６５．８ | ８１．５ | ６２．９ | ７６．７ |
| 内日系向け (%) | ６９．８ | １８．５ | ４８．８ | ５０．０ | ４７．８ | ４２．２ | ５０．９ |
| 内当該国向 け (%) | １２．０ | ３１．６ | １８．３ | ３．２ | ２７．５ | １８．５ | １７．８ |
| 補修向け (%) | ９．８ | ３．５ | ８．６ | １２．３ | ６．３ | ２．３ | ７．９ |
| 輸出比率 (%) | ８．４ | ４６．５ | ２７．４ | ３４．４ | １８．５ | ３７．０ | ２３．３ |
| 内日本以外 (%) | ７．４ | ４６．０ | １１．８ | ２１．１ | ５．９ | ３７．０ | １５．８ |

表－１，及び表－２を併せて読みとれるのは

１）海外進出を志向してきた際の思考の軸は、進出先を輸出品製造場と考えるという軸と、進出先のマーケットに期待して進出するという軸の２軸であること。

前者の例としてはかつての中国・東南アジア各国への進出のもくろみがこれに当たる。後者の例としてはアメリカ市場への進出が典型であろう。

２）このような個別会社の思惑が相乗されて、進出企業数において北・中南米、中国、ＡＳ

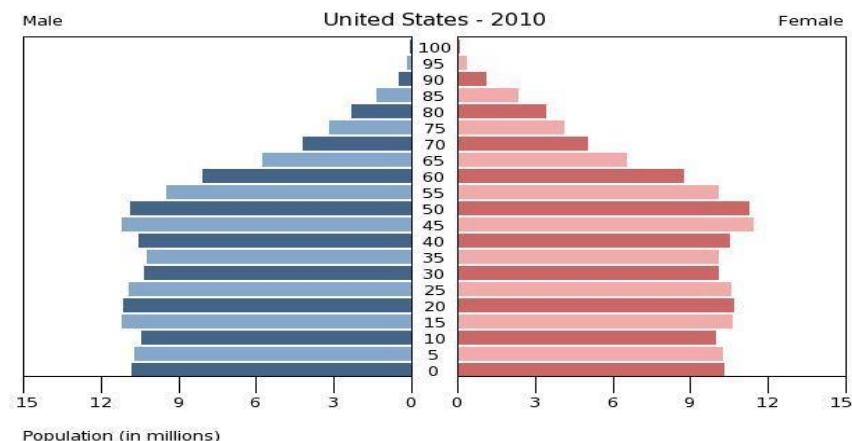
^８ 出典：一般社団法人日本自動車部品工業会、２０１２年「海外事業概要報告書」より筆者作成

^９ 出典：一般社団法人日本自動車部品工業会、２０１２年「海外事業概要報告書」より筆者作成

E A N諸国手はほぼ拮抗する集積を形成している。一方それぞれの集積に対する企業の方針は異なり、指標として「進出国からの輸出の売り上げに占めるウエイト」を見ると、北米市場はほぼ完全に内需依存、A S E A N諸国は現在尚外需依存の企業経営方針であることが読みとれる。なお、中国は外需から内需への転換期乃至混交期と考えることが出来る。

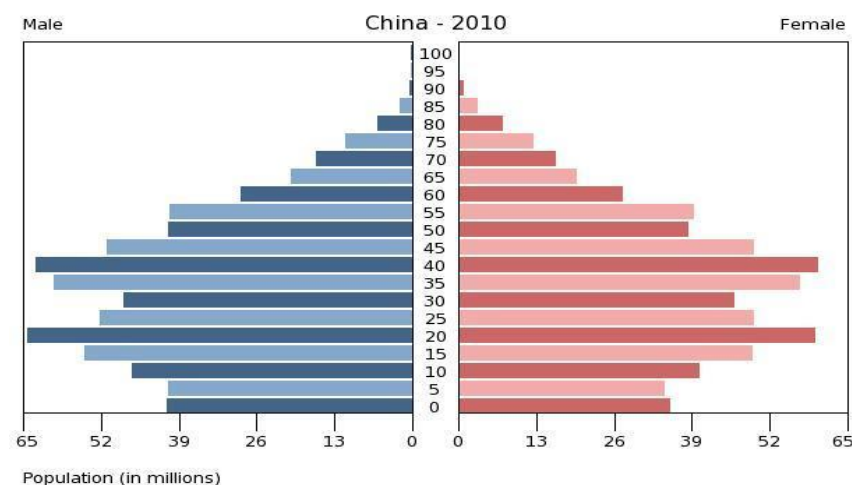
6-2 新規ネットワーク展開国・地域とネットワークの特色

図—6



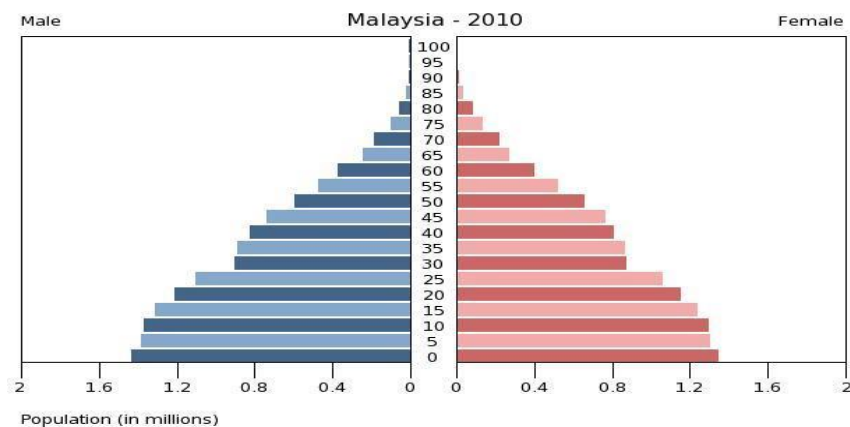
出典：米国商務省統計局資料。

図—7



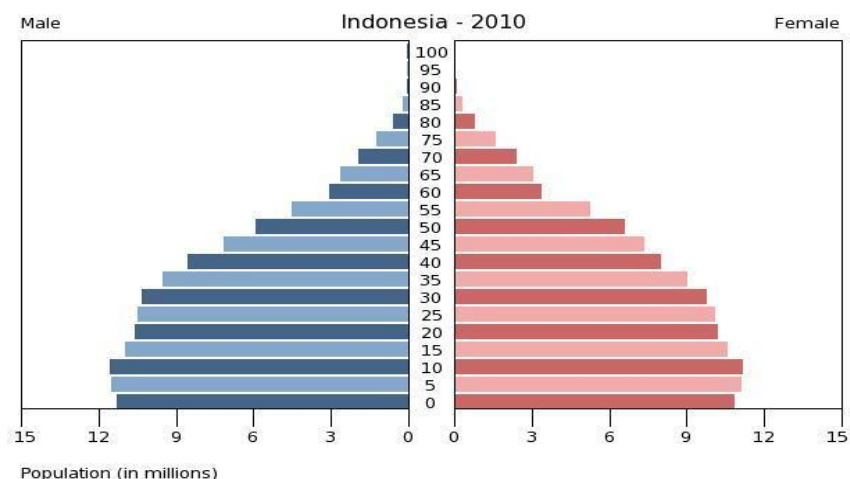
出典：米国商務省統計局資料。

図— 8



出典：米国商務省統計局資料。

図— 9



出典：米国商務省統計局資料。

自動車部品産業のネットワーク形成がある程度成熟した、あるいは現在進行中の地域について、将来的なマーケットの伸びを示す指標として年齢別人口構成比（図 6 ～ 9）を見ると以下のような観察結果が得られる。

- 1) 若年層が多くきれいな釣り鐘型を描く A S E A N 諸国は若年労働力に期待した輸出ドライブ型の事業運営が行われている。
- 2) 安定したシリンダー型を呈するアメリカでは、その安定的なマーケット故にその安定した、しかしマスとしては大きな内需に期待した事業運営が行われている。
- 3) 年齢別人口構造はスピンドル型をしている中国は、今後急速に人口減少が始まると見られ、日本と同様の高齢社会の急速な到来という構造要因を抱えている。しかしながら、マーケットとして評価する際は、人口の母数が多いこと、所得の成長によって可処分所得が高くなる層

が今後とも増加すると見込まれる。このため年齢別人口分布を所得で補正して自動車需要を想定する必要がある。本研究では、統計的な制約もあって上述の作業は実施していない。中国の自動車需要予測については自動車需要が人口カーブとパラレルに急速な落ち込みを示すと予測する向きは寡聞にして承知していない。

7 設備投資と冗長性の維持

以上のように見ると、我が国自動車部品メーカーの立地投資は、

- 1) 「縮小均衡」局面に入りつつある国内にあっては、近代化改修乃至合理化投資が必要であるが、能力増強投資の可能性は限りなく低い。
- 2) 新規能力増のバックグラウンドになる自動車組み立て産業の投資はマーケットの拡張余地がある国外で行われる。

この状況下で部品メーカーの設備増強投資は

- ① 顧客である自動車組み立て産業自身の立地国乃至周辺商圏国で需要に最も早く反応できる体制を取る。
- ② 顧客からの求めに対する反応時間を短縮するために、顧客のR&D活動まで取り込める、自らのR&D部門の移出を視野に入れ体制作りを企図する。
- ③ 顧客を日系メーカーに限定した事業計画では採算性のある計画が立てられない場合も想定され、進出先の近傍に存在する非日系の顧客等の新規顧客開拓を念頭に置いた体制を取る。

といった状況に答えられる新たな成長の出発点としての設備投資が必要になる。

ネットワーク内の冗長性を保持するためにはミラーノードが必要に成ることについては既に述べた。

- 3) このミラーノードを構成するに当たっての条件を見てみると、「有事にのみ機能するセンター」として保持していくだけの財務的な余裕は少なくとも自動車部品産業にはない。殊に生産対象に用いられる技術、あるいは生産過程に用いられる技術体系が進化し続ける現況では、隔絶され陳腐化された技術体系を保持するのみのノードをミラーノードとして想定することは合理性を欠く。むしろ冗長性を保つためのノードは生産システム内で成長するインセンティブを持つものとして生産システムに活着されたものである必要がある。

まとめ

このようなノードは生産阻害の原因となるイベントの発生から、完全復旧までの時間の中でリービッチの最少則の原因とならないよう相互に競争が出来る能力を持つて居ることが肝要である。換言すれば短期間にミラーとしての役割を果たし得るように業務形態が変更できる柔軟性を保持しているノードを自動車組み立て産業からのストレスの比較的弱い、マーケット及びネットワークの成長からの利益の配分にあずかれるポジションに意図的に埋め込むことによって初めて冗長性を維持することが可能となる。

以上を考え合わせるなら、今後自動車部品生産システムのレジリアンシーを獲得するため、ネットワーク内に冗長性を維持する為には、北・中南米地域、アセアンの2地域の成長力を取

り込みながらミラーノードを維持するという手法に合理性が見いだせる。